

PROCESOS DE FABRICACIÓN DE CIRCUITOS INTEGRADOS CMOS

Autores:
Marta Portela
Luis Entrena
Celia López
Mario García
Enrique San Millán
Almudena Lindoso



ÍNDICE

- Procesos básicos
 - Fabricación de la oblea
 - Oxidación térmica
 - Proceso de dopado
 - Implantación iónica
 - Difusión
 - Fotolitografía
 - Eliminación de película delgada
 - Deposición de película delgada
- Secuencia de procesos CMOS (flujo de procesos)

Procesos básicos: Fabricación de la oblea

■ La producción de obleas se lleva a cabo en tres pasos:

- **Refinado del silicio:** Varios procesos son necesarios para obtener pedazos de silicio policristalino con la suficiente pureza.
 - Sílice en un horno a 2000°C con una fuente de carbono

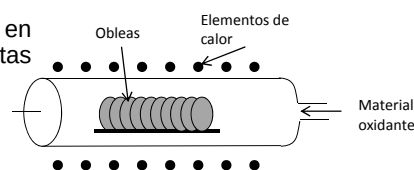
$$\text{SiO}_2(\text{solido}) + 2\text{C}(\text{solido}) \rightarrow \text{Si}(\text{liquido}) + 2\text{CO}(\text{gas})$$
 - Procesos de reducción química
- **Crecimiento del cristal:** Método de Czochralski
- **Formación de la oblea:** 1 mm de espesor (El espesor puede incrementarse con el diámetro de la oblea)

<http://www.youtube.com/watch?v=NvwG-rim4ug>

3

Procesos básicos: Oxidación térmica

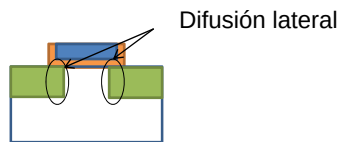
- Al exponer silicio en presencia de un oxidante a elevada temperatura se formará una capa delgada de óxido de silicio (SiO_2) sobre toda la superficie expuesta.
- SiO_2 es un elemento esencial en la tecnología CMOS:
 - Alta calidad como dieléctrico lo que le hace adecuado para su uso como aislante de puerta en los transistores
 - Usado como barrera en los procesos de implantación, difusión y fijación de las distintas máscaras
 - El óxido de silicio ofrece una interfaz prácticamente ideal con el silicio debido a su estructura cristalina.
- La oblea de silicio se expone en presencia de un gas oxidante a altas (900-1200°C) :
 - O_2 : Oxidación seca
 - Vapor de agua: oxidación húmeda



4

Procesos básicos: Dopado

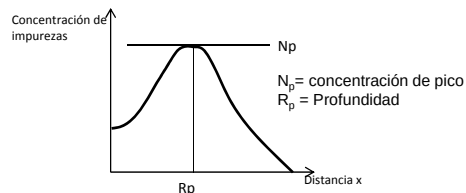
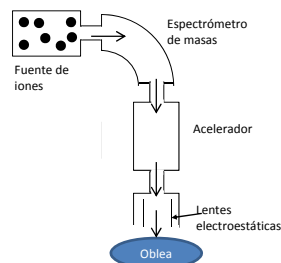
- Introducción controlada de impurezas dopantes en el silicio
 - Dopantes de tipo N: P, As, Sb
 - Dopante de tipo P: B
- La difusión era el método tradicional de dopado. La difusión de impurezas que se obtiene es directamente proporcional al gradiente de la concentración de dopantes presentes y a la energía térmica del proceso



5

Dopado: Implantación iónica

- La implantación iónica es el método más utilizado hoy en día en la fabricación de circuitos integrados CMOS.
- Los átomos/moléculas de dopantes son ionizados, se aceleran a través de un campo electromagnético alto (del orden de pocos kV a MegV) para dirigirlos hacia la oblea. Los iones altamente energéticos que bombardean la oblea se implantan en su superficie.

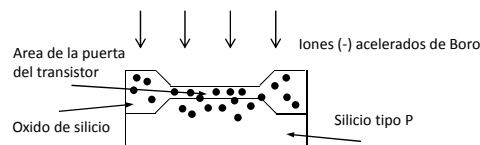


Distribución Gaussiana del perfil de dopantes implantados

6

Dopado: Implantación iónica

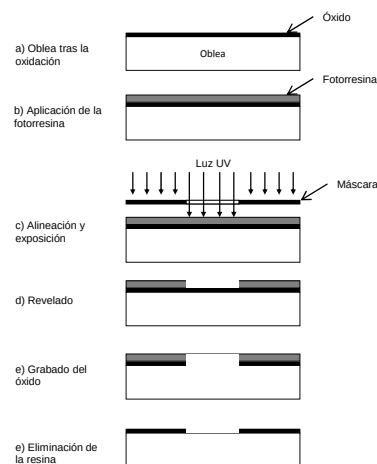
- La implantación iónica daña la red cristalina del silicio que debe ser reparada. Para ello, la oblea se somete a un recocido a altas temperaturas que produce una agitación de las impurezas dopantes, logrando que éstas se recolquen en la red cristalina.
- Comparado con el proceso de difusión, la implantación iónica tiene la ventaja de ser un método realizado a baja temperatura y altamente controlable.
- Actualmente, la difusión se usa para redistribuir los dopantes una vez realizada la implantación iónica.



7

Procesos básicos: Fotolitografía

- Proceso usado para seleccionar las zonas de una oblea que deben ser afectadas por un proceso de fabricación determinado.
- Un polímero sensible a la luz, denominado fotorresina, se utiliza como máscara para seleccionar las zonas necesarias en la implantación iónica y para otras máscaras de grabado.
- La fotorresina puede ser negativa (insoluble tras la exposición UV) o positiva (soluble tras la exposición a la luz). La fotorresina positiva presenta una mayor resolución.
- Resolución: La difracción de la luz limita el tamaño mínimo que se puede imprimir en un circuito.
 - Haz de electrones

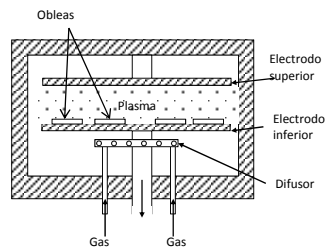


8

Procesos básicos: Eliminación de película delgada

■ Procesos para eliminar películas delgadas

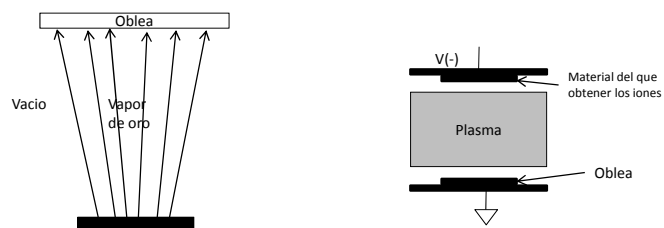
- **Húmedo.** Una solución química elimina el material sobrante. Es un proceso altamente selectivo en comparación con el proceso de eliminación seca.
- **Seco.** La oblea es bombardeada con iones cargados que al golpear la superficie arrancan los átomos/moléculas del material que se quiere eliminar.



9

Procesos básicos: Deposición de película delgada

- Son los métodos utilizados para depositar películas delgadas de materiales como aislante, conductor o semiconductor en la superficie de la oblea
 - El espesor de la película debe ser altamente uniforme (rugosidad $< \pm 5\text{nm}$)
- **Physical vapor deposition (PVD).** Átomos/moléculas atraviesan un gas a baja presión que se condensan posteriormente en la superficie del sustrato. :
 - Evaporación
 - Deposición por bombardeo (similar al método seco de eliminación de película delgada)



10

Procesos básicos: Deposición de película delgada

- *Chemical vapor deposition* (CVD). Gases reactivos se introducen en una cámara donde se producen reacciones químicas de los gases con la superficie del sustrato que generan la capa de material deseada.
- A presión atmosférica y a bajas temperaturas CVD se aplica en un reactor similar al horno utilizado para el proceso de oxidación térmica.
- A baja presión, el proceso puede producir mejores películas de material pero a expensas de una mayor temperatura durante el proceso de deposición.

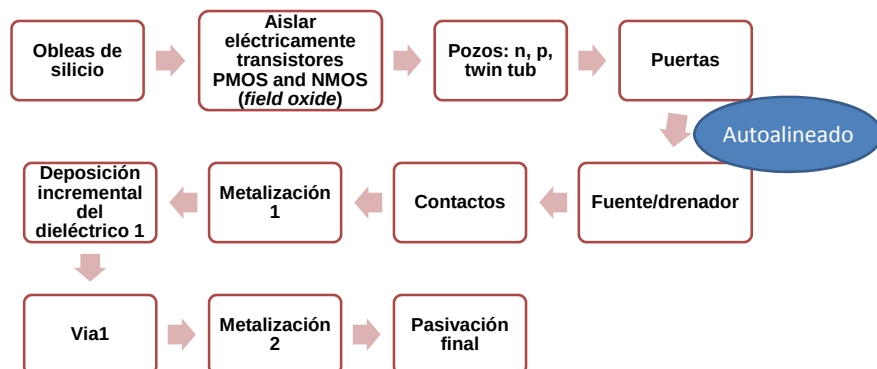
Polisilicio → Deposición de una película fina de silicio sobre SiO_2

Metalización → Aleación AlCu/Ti

11

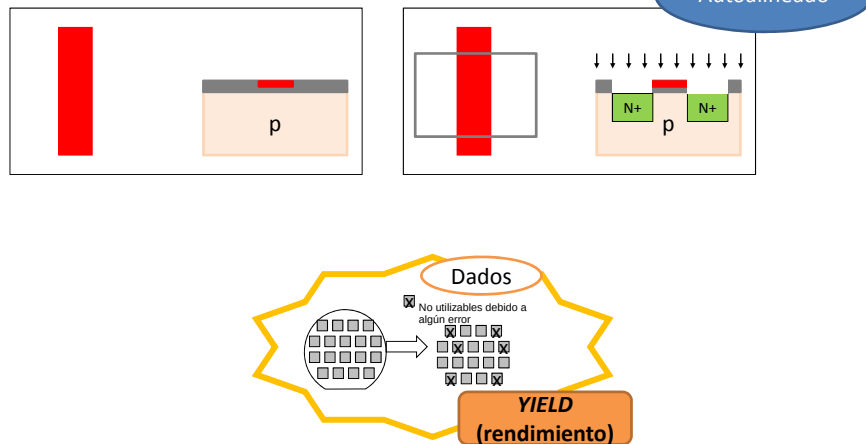
Secuencia de procesos CMOS

- Varios cientos de pasos son necesarios para poder fabricar circuitos integrados en una oblea de silicio.



12

Secuencia de procesos CMOS



13

Bibliografía

- W.K. Chen, "The VLSI Handbook" (second edition). CRC Press
- J. Rabaey "Circuitos integrados digitales" (second edition) Pearson Prentice Hall

14